心理学报 2022, Vol. 54, No. 12, 1433−1442
Acta Psychologica Sinica

https://doi.org/10.3724/SP.J.1041.2022.01433

空间路线学习中的前向测试效应*

马小凤 李甜甜 贾瑞红 魏 婕

(西北师范大学心理学院, 甘肃省行为与心理健康重点实验室, 兰州 730070)

摘 要 空间路线信息学习中的前向测试效应及其机制有待检验。研究以虚拟背景下的住宅小区为实验材料, 要求被试学习同一场景 4 个方向的路线信息(实验 1)以及 4 个不同场景(实验 2)的路线信息。结果表明, 在路线 1~3 的测试中, 同一场景下路线信息相似性高, “隔离”干扰的难度大, 在测试过程中的干扰率高于不同场景的路线信息。在路线 4 的测试中, 两个实验中测试组的回忆正确率均显著高于重学组, 干扰率则显著低于重学组, 出现了前向测试效应。这些发现表明, 测试可以通过“隔离”来自先前学习信息的前摄干扰来增强后续空间信息的学习。研究结果揭示了空间路线学习中的前向测试效应及其机制, 支持前摄抑制减少理论, 证实了前向测试效应在生活中具有广阔的应用性。

关键词 提取练习, 前向测试效应, 空间记忆, 路线信息
分类号 B842

1 前言

人类的认知资源有限, 短期内掌握大量信息或技能是一项相当大的挑战。长时间的学习会导致前摄干扰的形成, 即事先学习对保留随后学习的目标信息存在有害影响(Crowder, 1976)。因此我们关注在新信息学习过程中进行测试从而产生的有益的测试效果(Aslan, & Bäuml, 2016; Yang et al., 2018), 即测试可防止前摄干扰的建立(Szpunar et al., 2008; Weinstein et al., 2011), 增强新信息的学习和提取, 这一现象被称为前向测试效应(Forward testing effect)。

前向测试效应已在各类言语材料上得到验证, 包括单词列表(Szpunar et al., 2008)、面孔−姓名列表(Weinstein et al., 2011)、词汇配对(Cho et al., 2016; Yang et al., 2017)、物体−名称对(Pastötter et al., 2013)、统计视频(Jing et al., 2016)以及复杂文本材料(Wissman et al., 2011; 周爱保 等, 2015; 王堂生 等, 2020)。但是, Healy 等人(1997)提到在日常学习环境或职业环境中, 并不是所有信息都是通过言语进行传达的, 视觉空间信息的学习也变得越来越重要(引自 Carpenter et al.,2007)。前摄干扰不仅来自于文字性言语材料中, 空间信息中也会存在。例如, 在生活中我们经常发现自己在停车场寻找钥匙、手机或汽车, 一时记不起我们最后放置所寻物体的具体位置, 或在众多空间环境的建筑物中想不起某个具体建筑物位置, 或位于哪个建筑物旁边, 在回想时会面临多个记忆闪现的问题, 即物体的早期位置记忆干扰了当前位置, 使得记忆搜索目标位置变得困难。目前, 仅有极少数的研究探讨了空间信息学习的前向测试效应。Bufe 和 Aslan (2018)使用 9 个不同物体组成的 3×3 的阵列图的空间位置记忆检验了前向测试效应, 最终结果表明在三个先前学习过的阵列上测试物体的位置记忆改善了随后学习的第四个阵列上相同物体的位置记忆, 同时测试减少了在回忆第四个阵列时产生的混淆错误的数量。即被试不太倾向于错误地将物体放于它们之前出现过的位置。这一发现表明, 测试可以通过隔离先前所学信息的干扰来增强空间信息的后续学习(Aslan & Bäuml, 2016; Bufe & Aslan, 2018)。但是,

收稿日期: 2021-11-20
* 国家自然科学基金地区项目资助(31860282); 甘肃省“双一流”科研重点项目(GSSYLXM-01)。
通信作者: 马小凤, E-mail: psymaxiaofeng@126.com

空间物体阵列学习的空间概念较为抽象，与特定空间的直接体验联系较少。根据 Montello (1993)对空间尺度的划分，这种物体阵列是小的三维空间材料，属于小尺度空间信息。而日常所见到的建筑、社区、校园和城市的空间等属于大尺度空间信息(环境空间)，两者在认知机制上存在本质的不同。小尺度空间信息的测试通常采用传统的心理测量纸笔测试，包括知觉测验、表象、小物体或可操作物体的心理转换表征等形式。大尺度环境的空间能力测试任务包括学习新环境下的布局，如建筑物或城市布局，路径导航等。因此，空间学习中的前向测试效应还需要在更丰富的材料中去检验。

路线学习是与特定空间的直接体验联系密切的大尺度空间信息学习，在实际生活中被广泛应用。路线学习反映了对环境中特定路线的了解，是对从一个位置行进到另一个位置所需的运动序列信息(路线信息)的学习，通常包括一系列地标和到达目的地所需的运动(Siegel & White, 1975)。在路线记忆中地标起着重要作用(Daniel & Denis, 2004)，人们通常能成功地识别包含有值得注意的特征的地标，能够帮助记忆路线信息。前摄干扰是路线学习中非常普遍的现象。现实生活中我们在空间中四处移动，会遇到多个角度的空间布局信息或多个视点呈现的空间信息(Holmes et al., 2017)。我们需要从多个方向回忆起日常环境的空间布局(如厨房、家和邻居家的布局)。并且，生活中对于空间信息的学习并不是单一场景的，我们在空间中移动时，总是一个场景接着另一个场景，需要记忆的路线信息是累加的。当我们从多个方向去记忆同一条路线信息，或者记忆多个场景的路线信息时，前一个方向或者前一个场景的路线信息都会对后续场景的路线信息产生干扰。那么，路线学习中的前摄干扰是否可以通过测试得到抑制，即测试先前学习的路线信息是否会提高随后学习的新路线的长时记忆保持呢?

另外，前摄干扰减少理论(Release from PI)通常被用来解释前向测试效应的内在机制。前摄干扰减少理论(Szpunar et al., 2008)认为，学习过程中的测试会引发语境变化，这种变化减少了前摄干扰的积累并提高了新信息的回忆。具体而言，对学习过的项目的测试更新了这些项目的心理环境，由测试引起的心理环境的差异增加了学习或测试路线信息和新信息之间的差异，有助于区分先前信息和后续学习的新信息，即增强非目标和目标信息之间的隔离。当需要回忆目标项目时，这种增强的“隔离”可以减少心理搜索集的大小，允许对目标信息进行更集中的记忆搜索(Aslan & Bäuml, 2016; Bäuml & Kliegl, 2013)，从而产生较好的记忆效果。许多有关前向测试效应的研究都用这一理论来解释其研究结果。在路线学习中，我们既有可能从多个方向去记忆同一条路线信息，也可能会记忆多个场景的路线信息。研究表明，同一场景不同方向路线信息的学习与回忆在提取时场景是重复的，被试对空间信息的熟悉性很高，重复背景下相关联的信息使其记忆恢复的效果在具体性和清晰性上不如独特线索和场景条件下的效果(Robin et al., 2019)。因此，相比于不同场景的路线信息的累加学习与回忆，同一场景学习后进行提取时可能“隔离处理”的难度更大，产生的干扰率更大。那么，在“隔离处理”难度不同的场景信息中检验前向测试效应，并进一步对比回忆率与前摄干扰率的变化，可以成为前摄干扰减少理论的有力证据。

综上，本研究拟探讨路线学习中前一路线信息的测试对后续路线信息记忆的保持效应。本研究拟开展以下两个实验。实验 1 探讨个体在学习同一场景 4 个不同方向的路线信息时，前置测试对减少空间信息的前摄干扰并提高后续新信息记忆保持的效应。实验 2 探讨个体在学习 4 个不同场景的路线信息时，前置测试对减少空间信息的前摄干扰并提高后续新信息记忆保持的效应。地标的顺序是路线记忆的一个基本维度(Allen, 2000)。路线上的显著物体被视为地标，通过提供识别和记忆的线索来帮助被试获得空间信息(Röser et al., 2012)。因此，本研究将以路标顺序回忆的正确率作为因变量。为了模拟真实的路线学习场景，本实验拟在三维空间背景下构建路线信息，要求被试通过路线行驶记住沿途经过的地标并按顺序进行回忆测试。本研究假设，在路线学习中，前向测试比重复学习更能减少空间信息的前摄干扰并提高后续新信息的记忆保持。

2 实验 1：同一场景不同方向路线学习的前向测试效应

2.1 被试

根据 Yang 等(2017)观察到的前向测试效果的效应大小(Cohen’s *ds*)范围的中等值 $d = 0.40$, $(1 - β) = 0.80$，使用 G*Power 3 (Faul et al., 2007)进行效能分析，发现观察到显著的前向测试效应($α = 0.05$)需要每组约 18~23 名被试。因此本研究选取 52 名在

校大学生($M_{年龄}$ = 22.8 岁, SD = 2.15 岁)作为被试参与实验 1, 实验结束后每位被试得到一份纪念品。

2.2　实验设计

本实验采用 2 (学习条件: 测试, 重复学习) × 4(路线信息: 1~4)的混合实验设计, 其中学习条件为组间设计, 路线信息为组内设计。因变量为最终回忆的正确率以及前摄干扰率。

2.3　仪器与材料

为了体现学习环境的真实性, 采用 Sketchup 专业作图软件建模, 然后在 Lumion 软件中进行渲染和编辑, 最终形成三维视觉空间背景信息。实验材料呈现在 14 英寸笔记本电脑显示屏上(分辨率 1366×768), 屏幕亮度与对比度以避免引起被试不适为度。被试距离显示器约 60 cm, 正面相对。实验结果均采用 SPSS 20.0 完成数据的处理工作。

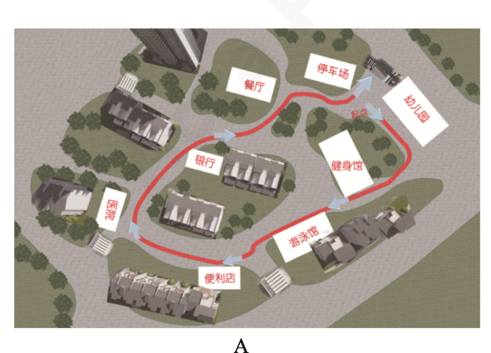
虚拟环境下以某城市住宅小区为背景, 选取常见的地标建筑物(如图 1 所示), 路线信息包含 8 个要素(医院, 幼儿园, 银行, 健身馆, 便利店, 餐厅, 停车场, 游泳馆)。屏幕中的建筑物是以第一人称视角的虚拟现实环境依次呈现给被试, 视野开阔, 方便被试对周围环境做出判断。每个视频的平均时长为 63 s, 且视频中的视角移动速度一致, 经过每个目标建筑物时停顿 1 s, 保证所呈现视角内能够完全看到该建筑物并增加视觉体验的真实感。该小区包含 4 个不同的出入口, 最终形成 4 条不同的路线信息, 每条路线单独呈现在一个视频中, 因此被试共需要学习 4 条不同的路线信息内容(平面路线图如图 2A~D 所示)。4 条路线信息的难度一致。为了避免相邻的两条路线的路径重复以及前后两条路线中建筑物的先后位置重复, 保证 4 条路线中某一建筑物不会在同一位置出现两次。因此路线呈现的顺序是固定的, 即全部被试采用相同的路线学习顺序。在实验过程中, 对被试是否决定测试所学路线信息, 采用伪随机设置, 即控制组在学习完信息后进行重复学习, 测试组学习完路线信息后进行测试。测试时给被试呈现的建筑物的角度与学习材料中建筑物出现的角度相同, 因为被试从虚拟环境中学习路线之后以相同的角度测试时更有利于识别场景(Shelton & McNamara, 2001)。

2.4　实验程序

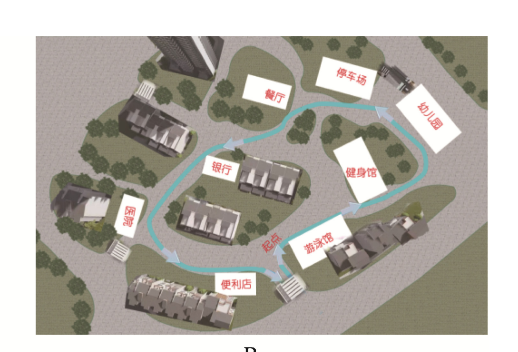
实验开始前, 被试被随机分配到 2 个小组中



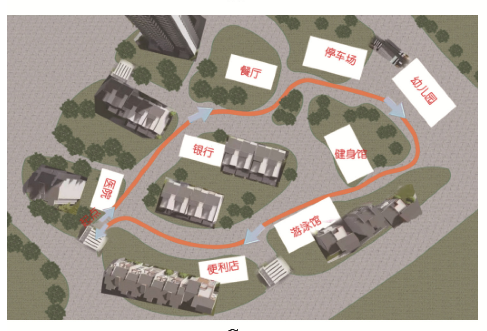
图 1　建筑物示例



A



B



C

D

图 2　ABCD 分别为平面路线信息 1~4 (实验 1)

(测试组, 重复学习组), 并告知他们屏幕将会呈现 4 个虚拟视频(即 4 条路线信息), 所有参与者都需要按照视频中呈现的路线方向视角行走并记住路线中经过的建筑物顺序。实验流程见表 1。

表 1 实验流程

组别	路线 1	路线 2~3	路线 4
测试组	学习视频–分心任务–测试	……	学习视频–分心任务–测试
重复学习组	学习视频–分心任务–重新学习	……	学习视频–分心任务–测试

实验开始后, 被试依次学习 4 条路线信息。在学习 1~3 个视频时, 两组被试都先观看视频, 然后进行一个 30 秒的分心任务(做一道高级瑞文推理题)。分心任务后, 重学组的被试再次观看视频, 测试组的被试按要求在空白纸上写下视频中经过的建筑物的顺序(给被试提供带有序号的 8 个建筑物图片)。但在学习路线 4 的信息后, 两组被试完成分心任务, 接着两组被试都需要进行回忆测试, 即在空白纸上写出路线 4 中经过的建筑物顺序。回忆测试后实验结束, 被试得到一份小礼物。

2.5 结果与分析

回忆阶段的得分由实验助手进行计分, 每回忆出一个建筑物出现的正确顺序得 1 分, 每条路线内容共计 8 分。统计被试在每个视觉空间路线回忆中的正确回忆量, 计算其正确回忆率。其次, 统计被试在当前回忆任务中错误回忆先前信息的前摄干扰率。前摄干扰率是指被试在回忆当前路线信息时回忆出上一条路线信息中出现的建筑物顺序的比率(例如: 路线 1 中建筑物的顺序为 A-B-C, 路线 2 的建筑物正确顺序为 C-A-B, 当被试试图回忆路线 2 的顺序时, 错误的回忆为 C-B-A, 而 B 为路线 1 中经过的第二个建筑物, 因此 B 为来自路线 1 的干扰。即被试错误地将路线 1 中某一建筑物的正确顺序放置在了路线 2 中某一建筑物的同一位置, 但其他都正确, 则干扰率为 1/8= 0.125。若非上条路线信息同一位置的建筑物, 或单纯的先后顺序混淆, 则不是干扰, 而是回忆错误)。

2.5.1 路线信息 1~4 的正确回忆率及干扰率

图 3 报告了测试组在路线信息 1~4 中每次测试后的正确回忆率以及干扰率的变化。整体来看, 测试条件下, 4 个方向的视频路线的回忆正确率在测试后期有增加的趋势[路线 1: 0.62, 路线 2: 0.38, 路线 3: 0.56 和路线 4: 0.74; $F(3, 75) = 9.41$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.27$]。进一步事后检验表明: 路线 1 的正确率($M = 0.62$, $SD = 0.03$)显著高于路线 2 的正确率($M = 0.38$, $SD = 0.06$), $p = 0.001$, $d = 0.92$, 95% CI [0.10, 0.37]; 路线 3 的正确率显著高于路线 2 的正确率, $p = 0.021$, $d = 0.81$, 95% CI [0.03, 0.33]; 路线 4 的正确率($M = 0.74$, $SD = 0.04$)显著高于路线 1, $p = 0.026$, $d = 0.86$, 95% CI [0.02, 0.23]、路线 2, $p < 0.001$, $d = 0.96$, 95% CI [0.21, 0.51]及路线 3 的正确率, $p = 0.011$, $d = 0.84$, 95% CI [0.04, 0.31]。也就是说, 在不断的测试中发现被试在后续路线学习后测试的回忆率高于前面路线的回忆率。

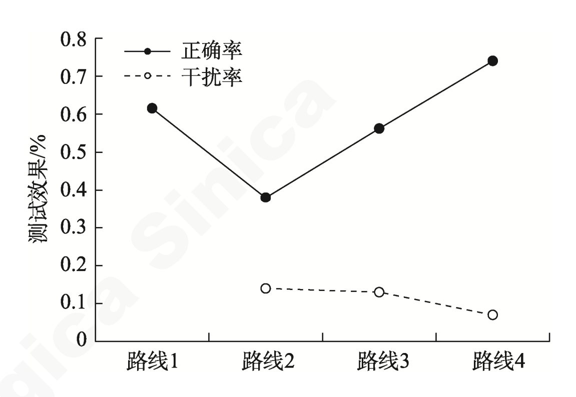


图 3 测试组路线信息 1~4 中的正确回忆率及干扰率(%)

其次, 计算干扰率, 即被试在回忆当前路线中出现的建筑物顺序时回忆出先前学习过的该建筑物的出现顺序, 这种干扰错误反映了先前学习对后续学习的消极影响。在测试组的干扰率上, 三条路线间差异显著, $F(2, 50) = 3.28$, $p = 0.046$, $\eta^2 = 0.12$。这证实了前摄干扰在视觉空间信息记忆中也存在。进一步事后检验表明: 路线 2 的干扰率($M = 0.14$, $SD = 0.03$)显著高于路线 4 ($M = 0.07$, $SD = 0.02$), $p = 0.033$, $d = 0.31$, 95% CI [0.01, 0.15], 路线 3($M = 0.13$, $SD = 0.03$)的干扰率显著高于路线 4, $p = 0.045$, $d = 0.24$, 95% CI [0.01, 0.12]。但是路线 2 与路线 3 的干扰率未达到显著水平, $p = 0.656$。表明随着不断测试, 来自前面所学信息的干扰率显著减少。

2.5.2 目标路线信息 4 的正确回忆率及干扰率

为验证前向测试效应, 比较了重复学习与测试组在路线信息 4 上的回忆率, 采用 2 (组别: 测试组, 重复学习组) × 2 (测试结果: 正确率, 干扰率)的方差分析, 结果表明, 组别和测试结果的交互作用显著, $F(1, 50) = 32.157$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.39$。进一步简单效应分析发现, 测试组对于路线 4 的正确回忆率显著高于重复学习组(0.74 vs 0.32), $t(50) = 5.95$, $p < 0.001$, $d = 0.64$, 95% CI [0.28, 0.57]。而在干扰率上,

测试组的干扰率显著低于重复学习组(0.07 vs 0.16), t (50) = 2.831, p = 0.007, d = 0.37, 95% CI [0.03, 0.16], 这表明对路线信息 1~3 的测试降低了对路线信息 4 的干扰(如图 4 所示)。

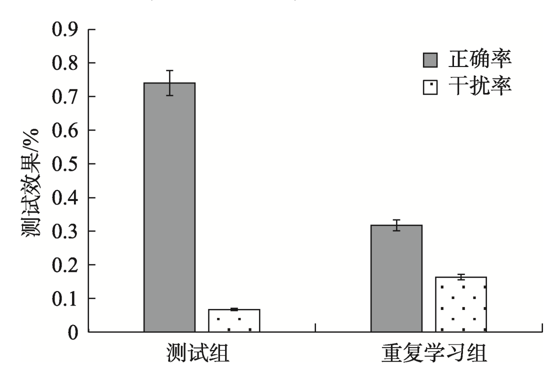


图 4 目标路线信息 4 上测试组与重复学习组的正确率及干扰率(%)

此外, 在重复学习条件下, 对于路线 4 的记忆比测试条件下路线 1 (无干扰)差(0.32 vs 0.62), t (50) = 4.503, p < 0.001, d = 0.53, 95% CI [0.17, 0.43], 反映了重复学习条件下随着重复学习次数的增多干扰增加。

2.6 讨论

实验 1 的结果表明, 在三个先前学习过的空间路线信息上测试地标建筑物的顺序改善了第四条路线信息中建筑物的顺序记忆的正确率($M_{测试组}$ = 0.74, $M_{重学组}$= 0.32), 降低了前摄干扰的数量($M_{测试组}$ = 0.07, $M_{重学组}$= 0.16)。也就是说, 连续测试时被试不太倾向于错误地按照先前学习过的建筑物顺序信息进行回忆。先前路线学习的干扰显著减少(路线 2: 0.14, 路线 3: 0.13, 路线 4: 0.07), 这一结果与先前关于卡片和物体位置的空间记忆中的结果一致(Bufe & Aslan, 2018; Postma et al., 2018), 说明测试可以通过隔离来自先前学习信息的主动干扰来增强空间信息的后续学习。

考虑到生活中除了对同一场景从不同方向进行路线学习容易产生前摄抑制外, 对不同场景进行累加学习也会产生前摄抑制, 并且两种路线学习中新旧材料的分隔处理难度也不同。因此, 我们拟在实验 2 中对学习材料进行改变, 采用不同场景的背景信息, 继续探讨路线学习中的前向测试效应。

3 实验 2: 不同场景路线学习的前向测试效应

3.1 被试

参照实验 1 被试数量计算方法, 实验 2 重新选取 60 名在校大学生($M_{年龄}$ = 24.52 岁, SD = 1.62 岁)作为被试参与实验。所有被试身体状况良好, 实验结束后每位被试得到一份纪念品。

3.2 实验设计

本研究采用 2 (学习条件: 测试, 重复学习) × 4 (路线信息: 1~4)的混合实验设计。其中学习条件是组间设计, 路线信息是组内设计。因变量为最终回忆的正确率和前摄干扰率。

3.3 设备和材料

为了体现学习环境的真实性, 且保持实验 1 与实验 2 的实验结果不受实验环境体验影响。实验 2 同样采用 Sketchup 专业作图软件建模, 然后在 Lumion 软件中进行渲染和编辑。实验材料呈现在 14 英寸笔记本电脑显示屏上(分辨率 1366×768), 屏幕亮度与对比度以避免引起被试不适为度。被试距离显示器约 60 cm, 正面相对。与实验 1 不同的是, 实验 2 的 4 条路线内容不是同一场景, 而是 4 个不同场景, 每个场景包含的建筑物均不同(即相同的地标在整个实验中不会出现两次), 这样 4 个场景共有 32 个建筑物。建筑物的选取是日常生活中常见的建筑物, 建筑物名称以 2 到 4 个字为主, 且根据建筑物的名称长度均匀分配到 4 个不同的视频中(如图 5A~D 为实验 2 四条路线信息平面图)。保证了实验材料的难度一致。路线信息的呈现同实验 1 一致, 采用固定顺序呈现。

3.4 实验程序

实验程序同实验 1。

3.5 结果和分析

计分方式同实验 1。

3.5.1 路线信息 1~4 中测试组的正确回忆率及干扰率

图 6 报告了测试组在路线信息 1~4 中每次测试后的正确回忆率以及干扰率的变化。整体来看 4 条路线信息之间在正确率上存在显著差异(路线 1: 0.70, 路线 2: 0.59, 路线 3: 0.73 和路线 4: 0.53), F (3, 87) = 4.57, p = 0.005, η^2 = 0.14。具体来说, 路线 1 (M = 0.70, SD = 0.25)的正确回忆率显著的高于路线 4 (M = 0.53, SD = 0.23), p = 0.005, d = 0.33, 95% CI [0.06, 0.28]; 路线 3 (M = 0.73, SD = 0.25)的正确回忆率显著的高于路线 4 (M = 0.53, SD = 0.23), p < 0.001, d = 0.38, 95% CI [0.10, 0.31]。其他比较没有达到显著性。在干扰率上, 前摄干扰从路线 2~4 显著增加(0.02, 0.04, 0.07), F(2, 58) = 4.32, p = 0.018, η^2 = 0.13。

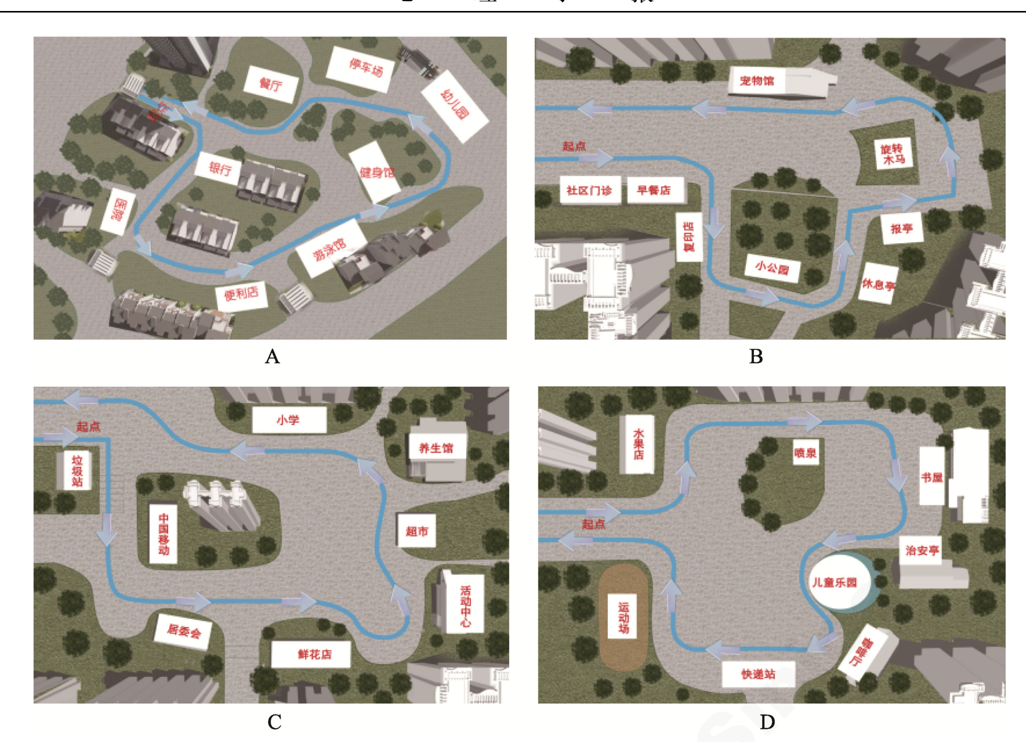


图 5 ABCD 分别为平面路线信息 1~4 (实验 2)

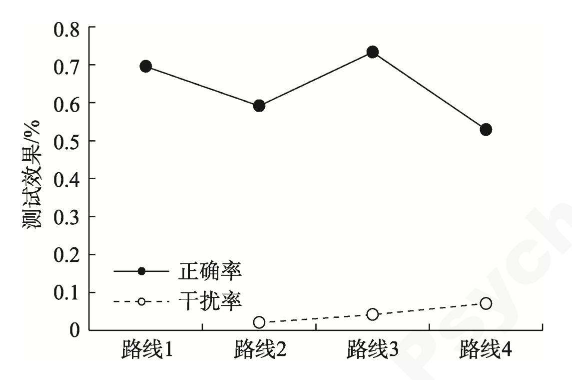


图 6 测试组在路线信息 1~4 中的正确回忆率及干扰率(%)

3.5.2 目标路线信息 4 的正确回忆率及干扰率

对于目标路线 4 的回忆率是前向测试效应的关键得分指标, 采用 2 (组别: 测试组, 重复学习组) × 2 (测试结果: 正确率, 干扰率)的方差分析。结果表明, 组别和测试结果的交互作用显著, $F(1, 58) = 45.483$, $p < 0.001$, $\eta^2 = 0.44$。如图 7 所示, 进一步简单效应分析发现, 测试组的成绩明显高于重复学习组的成绩(0.53 vs 0.24), $t\ (58) = 5.40$, $p < 0.001$, $d = 0.57$, 95% CI [0.18, 0.39], 即在最后一个目标路线记忆上测试组的成绩远好于仅仅进行重复学习材料的回忆成绩。重要的是, 测试条件下路线信息 4 中的前摄干扰率显著的低于重复学习条件下的前摄干扰率(0.07 vs 0.27), $t\ (58) = 5.612$, $p < 0.001$, $d = 0.59$, 95% CI [−0.28, −0.13], 这表明对路线信息 1~3 的测试降低了先前学习过的材料对回忆目标材料路线信息 4 产生干扰的可能性。

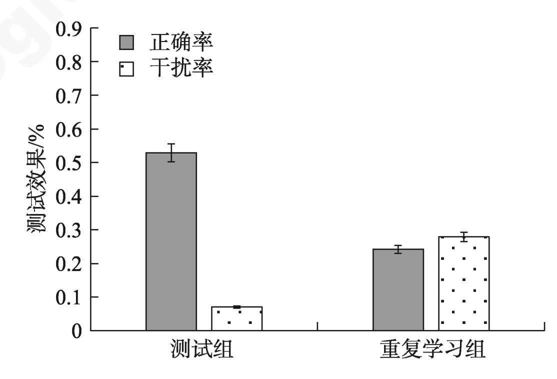


图 7 路线信息 4 上测试组与重复学习组的正确率及干扰率(%)

此外, 在重复学习条件下, 对于路线信息 4 的记忆比测试条件下路线信息 1 (无干扰)差(0.24 vs 0.70), $t\ (58) = 8.05$, $p < 0.001$, $d = 0.72$, 95% CI [0.34, 0.57], 反映了重复学习条件下随着重复学习次数的增多干扰增加。

3.6 讨论

实验 2 再次揭示了在视觉空间路线信息学习中的前向测试效应。实验 2 中被试学习了 4 个不同的场景, 学习的信息量相较于实验 1 明显增大。因此, 测试组的正确回忆率没有随着测试次数的增多呈增长趋势。由于每次测试都更换不同的场景, 前一场景对后一场景的干扰是不断叠加的, 因此干扰率也逐渐提高。但是, 在路线信息 4 上前向测试效应

依旧被验证, 测试组在路线信息 4 上的正确回忆率显著高于重复学习组, 路线信息 4 中的前摄干扰在测试条件下比在重复学习条件下低(0.07 vs 0.28), 这表明对路线信息 1~3 的测试与重学相比降低了先前学习过的材料对回忆目标材料路线信息 4 产生干扰的可能性。在重复学习条件下, 对于目标路线信息 4 的记忆比测试条件(无干扰)下的路线信息 1 差(0.24 vs 0.70), 反映了重复学习条件下随着重复学习次数的增多干扰增加。

4 总讨论

本研究首次在视觉空间路线信息上探索了前向测试效应, 以虚拟背景下场景中路线经过的建筑物为学习材料, 进一步推进了前向测试效应在空间信息学习中的研究进展。研究结果表明, 两种场景设置下, 测试组的被试与重学组相比都较少受到先前所学信息的干扰, 回忆成绩更好。这些发现表明, 测试可以通过隔离来自先前学习信息的前摄干扰来增强空间信息的后续学习。

4.1 测试对路线学习的促进作用

具体而言, 在实验 1 中被试进行同一场景不同方向的路线学习。从视觉空间记忆的角度而言, 同一场景不同方向的背景使得路线信息成为一个整体, 相对容易编码。已有研究表明, 观察者的移动会增强信息视点变化的空间更新, 从而增强多个空间方向的空间信息学习(Holmes et al., 2018)。当被试在不同方向的路线信息中学习时, 空间信息以自我为中心的呈现方式会自动重新配置, 相当于视觉运动中的等效场景识别(Simons et al., 2002), 这些信息以类似的方式被存储和重建, 对于空间整合的连续顺序记忆十分重要。因此, 实验 1 中从路线信息 1~4 整体的回忆率来看, 测试组随着不断测试, 正确率呈不断上升趋势。实验 2 中, 被试学习的背景改变为不同场景的路线学习, 学习的信息量显著增大, 认知负荷量不断增大, 被试在路线信息 1~4 的回忆率也不断变化, 如实验 2 结果中路线信息 2 的回忆率相比路线信息 1 略低, 而路线信息 3 回忆率又增高。Cho 等人(2016)将临时测试的优势归因于增强的提取努力—提取努力理论: 先前临时测试中的提取失败可能会引发对先前测试效果的不满, 然后激励被试在后续测试中发挥更多的提取努力来缓解他们的不满。而学习者可以将测试结果作为反馈来诊断他们正在进行的学习状态和他们期望的状态, 然后调整他们随后的学习以缩小这一差距(Pyc & Rawson, 2010, 2012)。此外, 在两个实验中, 通过计算测试组的干扰率, 表明 4 条路线信息之间仍然存在前摄干扰。这一结果与先前研究一致, 先前研究使用类似的研究程序和干扰测试, 报告了在卡片以及物体位置的空间记忆中存在前摄干扰(Postma et al., 2018)。在路线信息 4 的测试中, 两个实验都发现测试组比重复学习组的被试更加正确地回忆了建筑物的路线顺序, 且比重复学习组更少的受到来自先前学习材料中前摄干扰的影响, 显示了典型的前向测试效果。并且, 实验 2 的多场景进一步证明了前向测试效应在路线信息学习中适用背景的广泛性。

4.2 信息“隔离”难度对测试效果的影响

从前向测试效应的理论机制来讲, 本研究通过场景信息操纵了路线信息间的“隔离”难度, 发现前面信息的不同干扰程度对后续新信息的学习影响不同。对比两个实验的结果, 实验 2 中路线信息的整体回忆率好于实验 1, 且干扰率相比实验 1 更低。即同一场景建筑物位置信息的混淆导致的前摄干扰较不同场景信息负荷量增大的前摄干扰更大, 回忆率更低。根据线索过载效应(Berntsen et al., 2013; Watkins & Watkins, 1975), 与线索的关联越多, 记忆提取率越低, 原因是受到项目之间的干扰或线索与其关联目标之间的独特性的丧失(Moscovitch & Craik, 1976)。由于相关联的记忆之间的干扰, 或线索和相关记忆的独特性降低, 存储在记忆中的大量关联的更熟悉的背景可能会导致较差的记忆效果(Moscovitch & Craik, 1976; Robin et al., 2019; Talmi & Moscovitch, 2004)。实验 1 是同一场景不同方向的空间信息学习, 8 个地标信息在同一场景下被反复学习。背景中关联信息过多导致被试在回忆时容易对建筑物顺序混淆, 即相关联的记忆之间的干扰增强, 场景或背景信息的独特性降低, 干扰率增大。而在实验 2 中不同场景的信息学习中, 空间背景似乎更具有“独特性”, 项目之间的干扰较小, 正确回忆率更高。另外, 从两个实验各自的 4 条路线信息的正确回忆率和干扰率的趋势来看, 当被试学习第三条路线信息之后, 实验 1 的干扰率开始降低, 正确回忆率开始上升。而实验 2 中的干扰率开始上升, 正确率也随之下降。根据编码特异性原则, 线索和存储的记忆之间更大程度的匹配将增加提取成功的概率(Tulving & Thomson, 1973)。因此, 在实验 1 中虽然场景重复出现使得 4 个方向的路线信息的“隔离”难度增大, 整体的干扰率较高, 但是随着

熟悉的背景下线索呈现次数的增多，信息提取的匹配性增强，记忆效果有了向好的趋势，因此干扰率随着测试次数的增多逐步下降。而实验 2 中由于每次场景信息都是新的，场景背景的新异性使得 4 个场景路线信息的“隔离”难度相对较小，整体干扰率较低，但信息提取的匹配性减弱，干扰率随着测试次数的增多逐步上升。总的来说，这种表现在由“隔离”难度造成的干扰率的不同，以及两个实验各自表现出的干扰率上升则正确率下降，干扰率下降则正确率上升的趋势，都直接揭示了前向测试效应中隔离前摄干扰的重要性，为前摄干扰减少理论提供了直接的实验证据。

来自于传统的测试效应(后向测试效应)的证据表明测试可以促进路线学习。传统的测试效应主要考察测试对于已学信息的记忆保持。Kelly 等人(2015)设计了实验来探索测试是否改善了路线知识的获取。结果表明与重复学习相比，当被试在穿过路线之前得到正确反馈时，测试改善了路线记忆。当在移动到错误信息后出现反馈时，与重复学习相比，测试会导致更差的效果。与本研究结果一致的是，从路线信息 4 上回忆的正确率来看，两个实验的测试组均显著的高于重复学习组，说明测试有利于路线信息的学习。前向测试效应主要考察测试已经学习过的信息对于后续学习新信息的促进作用。这一点可以通过干扰率这一指标来说明，如果通过前向测试降低了已学信息对新信息的干扰，则说明前向测试对新信息的学习是有积极影响的。本研究两个实验的结果均表明，尽管已学信息对新信息的干扰始终存在，但是与重复学习相比，前向测试是更能够降低干扰的一种学习策略。

4.3 研究局限与展望

在目前的实验中，被试学会了视觉路线信息中地标的顺序记忆，引导他们朝着目标前进。同时，记住路线上地标的相对位置是导航记忆的重要组成部分，也是检查视觉记忆的一个方面。虽然这项任务涉及程序学习，但任务本身并不完全是程序性的。被试在学习中可能会结合策略，如基于明确的言语信息加工，对经过的路线地标顺序进行编码。例如，被试可以有意识地对建筑物的地标名称进行策略编码。在本研究结束后，有些被试也主动报告过他们在对路线信息材料中经过的建筑物编码时，采用了有意义的编码策略，例如“我先去银行取了钱，然后去了医院付款，接着又去了便利店买东西”等。这种潜在言语策略的性质和范围，以及它们如何影响视觉空间信息中路线记忆方面的任务，目前尚不清楚，这也可能是一个未来的研究方向。鉴于在大多数关于测试效应的研究中对陈述性语言学习的严重依赖，目前的实验提供了关于测试增强视觉空间信息学习的重要的新发现。未来的研究可以进一步探讨言语加工在这种视觉空间信息学习过程中的作用。

5 研究结论

(1) 在空间路线信息学习中，相比于重复学习，前置测试能够有效减少前摄干扰，增强了对新的路线信息的记忆保持。

(2) 路线学习之间“隔离”难度更大的同一场景比不同场景的前向测试产生了更大的前摄干扰率，支持前摄抑制减少理论。

参 考 文 献

Allen, G. L. (2000). Principles and practices for communicating route knowledge. *Applied Cognitive Psychology, 14*(4), 333−359.

Aslan, A., & Bäuml, K.-H. T. (2016). Testing enhances subsequent learning in older but not in younger elementary school children. *Developmental Science, 19*(6), 992−998.

Bäuml, K.-H.T., & Kliegl, O. (2013). The critical role of retrieval processes in release from proactive interference. *Journal of Memory and Language, 68*(1), 39−53.

Berntsen, D., Staugaard, S. R., & Sørensen, L. M. T. (2013). Why am i remembering this now? Predicting the occurrence of involuntary (spontaneous) episodic memories. *Journal of Experimental Psychology General, 142*(2), 426−444.

Bufe, J., & Aslan, A. (2018). Desirable difficulties in spatial learning: testing enhances subsequent learning of spatial information. *Frontiers in Psychology, 9*, 1701.

Carpenter, S. K., & Pashler, H. (2007). Testing beyond words: Using tests to enhance visuospatial map learning. *Psychonomic Bulletin & Review, 14(3)*, 474-478.

Cho, K. W., Neely, J. H., Crocco, S., & Vitrano, D. (2016). Testing enhances both encoding and retrieval for both tested and untested items. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 70*(7), 1211−1235.

Crowder, R. G. (1976). Principles of learning and memory. *American Journal of Psychology, 90*(2), 48−48.

Daniel, M.-P., & Denis, M. (2004). The production of route directions: Investigating conditions that favour conciseness in spatial discourse. *Applied Cognitive Psychology, 18*(1), 57−75.

Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A. G., & Buchner, A. (2007). G*Power 3: A flexiBle statistical power analysis program for the social, Behavioral, and Biomedical sciences. *Behavior Research Methods, 39*(2), 175−191.

Holmes, C. A., Marchette, S., & NewcomBe, N. S. (2017). Multiple views of space: Continuous visual flow enhances small-scale spatial learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition, 43*(6), 851−861.

Holmes, C. A., NewcomBe, N. S., & Shipley, T. F. (2018). Move to learn: integrating spatial information from multiple viewpoints. *Cognition, 178*, 7−25.

Jing, H. G., Szpunar, K. K., & Schacter, D. L. (2016). Interpolated testing influences focused attention and improves integration of information during a video-recorded lecture. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 22*(3), 305−318.

Kelly, J. W., Carpenter, S. K., & Sjolund, L. A. (2015). Retrieval enhances route knowledge acquisition, But only when movement errors are prevented. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 41*(5), 1540−1547.

Montello, D. R. (1993). Scale and multiple psychologies of space. *Lecture Notes in Computer Science, 716*(1), 312−321.

Moscovitch, M., & Craik, F. I. M. (1976). Depth of processing, retrieval cues, and uniqueness of encoding as factors in recall. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior, 15*(4), 447−458.

Pastötter, B., WeBer, J., & Bäuml, K.H. T. (2013). Using testing to improve learning after severe traumatic Brain injury. *Neuropsychology, 27*(2), 280−285.

Postma, A., Morel, S. G., Slot, M. E., Oudman, E., & Kessels, R. P. C. (2018). Forgetting the new locations of one's keys: spatial-memory interference in Korsakoff's amnesia. *Experimental Brain Research*, *236*, 1861−1868.

Pyc, M. A., & Rawson, K. A. (2010). Why testing improves memory: Mediator effectiveness hypothesis. *Science, 330*(6002), 335−335.

Pyc, M. A., & Rawson, K. A. (2012). Why is test-restudy practice beneficial for memory? An evaluation of the mediator shift hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 38*(3), 737−746.

Röser, F., Hamburger, K., Krumnack, A., & Knauff, M. (2012). The structural salience of landmarks: results from an on-line study and a virtual environment experiment. *Journal of Spatial Science, 57*(1), 37−50.

Robin, J., Garzon, L., & Moscovitch, M. (2019). Spontaneous memory retrieval varies based on familiarity with a spatial context. *Cognition, 190*, 81−92.

Shelton, A. L., & Mcnamara, T. P. (2001). Systems of spatial reference in human memory. *Cognitive Psychology, 43*(4), 274−310.

Siegel, A. W., & White, S. H. (1975). The development of spatial representations of large-scale environments. *Advances in child development and Behavior, 10*, 9−55.

Simons, D. J., Wang, R. F., & Roddenberry, D. (2002). Object recognition is mediated by extraretinal information. *Perception and Psychophysics, 64*(4), 521−530.

Szpunar, K. K., McDermott, K. B., & Roediger, H. L. (2008). Testing during study insulates against the buildup of proactive interference. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 34*(6), 1392−1399.

Talmi, D., & Moscovitch, M. (2004). Can semantic relatedness explain the enhancement of memory for emotional words? *Memory and Cognition, 32*(5), 742−751.

Tulving, E., & Thomson, D. M. (1973). Encoding specificity and retrieval processes in episodic memory. *Psychological Review, 80*(5), 352−373.

Wang, T. S., Yang, C. L., & Zhong, N. (2020). Forward testing effect on new learning in older adults. *Acta Psychologica Sinica, 52*(11), 1266−1277.

[王堂生, 杨春亮, 钟年. (2020). 记忆的前向测试效应对老年人学习新事物的作用. *心理学报, 52*(11), 1266−1277.]

Watkins, O., & Watkins, M. (1975). Buildup of proactive inhibition as a cue-overload effect. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory, 104*(4), 442−452.

Weinstein, Y., Mcdermott, K. B., & Szpunar, K. K. (2011). Testing protects against proactive interference in face−name learning. *Psychonomic Bulletin & Review, 18*(3), 518−523.

Wissman, K. T., Rawson, K. A., & Pyc, M. A. (2011). The interim test effect: testing prior material can facilitate the learning of new material. *Psychonomic Bulletin & Review, 18*(6), 1140−1147.

Yang, C., Potts, R., & Shanks, D. R. (2017). The forward testing effect on self-regulated study time allocation and metamemory monitoring. *Journal of Experimental Psychology: Applied, 23*(3), 263−277.

Yang, C., Potts, R., & Shanks, D. R. (2018). Enhancing learning and retrieval of new information: a review of the forward testing effect. *NPJ Scientific of Learning, 3*(1), 8.

Zhou, A. B., Yang, T. C., Cheng, C., Ma, X. F., & Zhao, J. (2015). Retrieval practice produces more learning in multiple-list tests with higher-order skills. *Acta Psychologica Sinica, 47*(7), 928−938.

[周爱保, 杨天成, 程晨, 马小凤, 赵静. (2015). 多篇章学习中提取练习策略对高阶技能的影响. *心理学报, 47*(7), 928−938.]

The forward testing effect in spatial route learning

MA Xiaofeng, LI Tiantian, JIA Ruihong, WEI Jie

(*School of Psychology, Northwest Normal University, Provincial Key Laboratory of Behavioral and Mental Health, Lanzhou* 730070, *China*)

Abstract

The forward testing effect describes how testing previously learned material could improve participants long-term memory for later learning of new material when continuously exposed to various information. This has been verified using different language materials. However, the effect of forward testing on spatial path learning requires further study.

This study selected 112 participants randomly and conducted two experiments to explore the forward test effect of visuospatial route learning in different directions in the same scene (Experiment 1). Further, it investigated the forward test effect of visuospatial route learning in various settings (Experiment 2). The spatial

route information memory method was adopted based on the extensive experimental procedure formed by the forward test effect. Through a sequence of sites in a virtual route setting, participants were required to comprehend and recollect the structures that passed on the route. Furthermore, the exercise ended with a sequential recall test. A total of 52 participants were randomly assigned to the test and repeated study groups in Experiment 1. Eight common landmark buildings, such as hospitals and schools, were selected to form four different route information. After learning approximately 1~3 pieces of route information, the repeated study group re-learned the route information. Further, the test group recalled the order of the buildings passing through the route information as required. When learning about Route 4 regarding either the test condition or the re-learn condition, it was necessary to recall the order in which the route passed through buildings. The forward test effect of memorizing route information in different scenarios was explored in Experiment 2 with 60 participants. Unlike Experiment 1, the participants in Experiment 2 learned four different routes, each containing a different building. The experimental procedure was the same as that used in Experiment 1.

Experiment 1 showed that the recall accuracy of spatial path information in the test group was significantly higher than in that the repeated-learning group. Moreover, the active interference generated when recalling the fourth path information was considerably lower than that in the repeated-learning group. The results of Experiment 2 showed that there was a positive test effect for different scene background information. This further proves that the application background of the forward test effect in route-information learning was extensive. More importantly, by comparing the two experimental results horizontally, it was found that different interference levels of previous information have different effects on learning following new information. This is manifested in the difference in the interference rate caused by the difficulty of “isolation” among materials, including the trend that the correct rate decreases when the interference rate increases and the correct rate increases when the interference rate decreases. All of these directly reveal the forward direction−the importance of counteracting proactive interference in testing the effects.

In summary, this study verified the existence of the forward test effect in the path learning of different directions in the same scene and the path learning in various settings. Extending the study of the forward testing effect on learning visuospatial path information will enrich the exploration of the forward testing effect in spatial memory. Additionally, this study found that different levels of interference from previously learned information affect the subsequent learning of new information. The findings provide direct experimental evidence for proactive interference reduction theory.

Keywords retrieval practice, forward testing effect, spatial memory, route information